



TITLE:

Evaluation of Earthquake-Induced Local Damage in Steel Moment-Resisting Frames Using Wireless Piezoelectric Strain Sensing(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Li, Xiaohua

CITATION:

Li, Xiaohua. Evaluation of Earthquake-Induced Local Damage in Steel Moment-Resisting Frames Using Wireless Piezoelectric Strain Sensing. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19299>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-09-24に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	李 小華
論文題目	Evaluation of Earthquake-Induced Local Damage in Steel Moment-Resisting Frames Using Wireless Piezoelectric Strain Sensing (無線圧電ひずみセンシングによる被災鋼構造骨組の局所損傷評価)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本研究は、被災時の安全性および社会活動の継続性を向上させることを目的として、被災骨組の局所損傷を即時に評価する包括的な仕組みを構築することを研究課題としている。建物に局所的に発生した損傷を評価する指標として、固有振動モード下での建物内の応力分布の変化に着目し、それを計測する無線圧電ひずみセンシングの構築と性能評価に取り組んだ。さらに、局所損傷評価指標と破断面の断面 2 次モーメントの低下度を関連付ける閉形解を導出することから、剛性や耐力といった一般的な構造性能と関連が深い物理量に置換して損傷度を評価することに成功した。本論は、局所損傷評価指標の理論展開、実大に近い試験体を用いた実証実験、および損傷指標と破断量の関係式の導出、を含む全 7 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景と論文全体の構成を記述している。</p> <p>第 2 章では、無線圧電ひずみセンシングによる局所損傷評価の基本的な考え方を述べている。梁端の破断などの局所的な損傷は、地面から振動を受ける鋼骨組内の各部材が負担する曲げモーメントの分布を変化させる。先ず、単純な骨組の解析モデルを用いて、損傷による曲げモーメント分布の変化を定式化した。次に、曲げモーメントを固有振動モードに分解し、さらに建物内で正規化することによって、分布の変化が振動を励起する地面からの入力の特性に依存せず損傷の影響のみを受けることを示した。さらに、実際に曲げモーメント分布を計測する手法として、無線圧電ひずみセンシングを提案した。</p> <p>第 3 章では、ひずみ計測に基づき梁端部の破断量を評価する指標とその信号処理方法を検討している。常時微動下で計測した梁部材の動ひずみ応答を地震で被災する前後で比較し、曲げモーメント分布の変化に対応する損傷指標として、動ひずみ応答の 2 乗和平方根の変化率を提案した。元データから損傷指標を抽出するまでの具体的な手順について、必要な信号処理方法のフローを示したうえで、5 層鋼骨組縮小模型を対象とした実証実験を実施した。</p> <p>圧電ひずみセンサーの一種である PVDF センサーと無線モジュール NARADA を組み合わせて、無線動ひずみ計測網を構築した。鋼骨組縮小模型が無損傷の状態では、常時微動下での局所損傷評価指標のばらつきは極めて小さいこと、骨組内で梁端部に損傷を与えた場合には、局所損傷評価指標の低下により、その場所を正確に特定可能であること、さらに、損傷度を大きくした場合には、局所損傷評価指標の低下度が大</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	李 小華
<p>きくなることを確認した．</p> <p>第 4 章では，第 3 章で提案した局所損傷評価指標に計測環境や構造特性が与える影響について調べた．特に，骨組への入力振動の特性，評価の対象とする固有振動モード，圧電ひずみセンサーの設置位置，複数の損傷が近傍に存在する場合の損傷指標の相関，を検討の対象とした．骨組の動的解析および 5 層鋼骨組縮小模型の振動台実験を通して，これらのパラメータが局所損傷評価指標に与える影響を定量的に評価した．</p> <p>局所損傷評価指標の値は，使用する入力振動の特性や選択する固有振動モードに依存しないが，無損傷時のばらつきを低減するためには，応答パワーの大きい卓越振動モードを選択する必要があることを確認した．解析および実験の結果から，破断による局所的なひずみ分布の変化の影響を受けずに安定した結果が得られるセンサーの設置位置として，破断が発生する梁端部から $1.2d$ (d は梁せい) $\sim 2.0d$ の領域を推奨した．また，ある梁端部に損傷が存在する場合には，その近傍にある健全な梁における損傷指標が増加すること，したがって，損傷が複数存在する場合については，損傷指標の相関を考慮する必要があることを明かにした．</p> <p>第 5 章では，局所損傷指標と破断面の断面 2 次モーメントの低下度を関連付ける損傷曲線を提案し，事前に用意した損傷曲線を利用することにより，局所損傷指標を具体的な物理量に変換できることを示した．先ず，単純な骨組に対して，構造計算により梁端部の曲げモーメントを解析的に導出し，次いで梁端部の損傷度を変化させることにより，損傷曲線を閉形解として表現した．さらに，損傷曲線に影響する構造パラメータが梁のせん断スパン比のみであること突き止め，任意の多層多スパン骨組への適用に向けて損傷曲線の閉形解を一般化することに成功した．最後に，数値解析および振動実験において，損傷曲線の閉界式の妥当性を証明した．</p> <p>第 6 章では，損傷が複数存在する場合について，損傷指標を独立して評価する手法を開発した．対象とする骨組の数値解析モデルを利用して，任意の一つの損傷が近傍の梁端部の損傷指標に与える影響を表現する損傷相関行列を構築したうえで，得られた行列の逆行列を複数の損傷が存在する場合の損傷指標ベクトルに乗じることで，損傷指標の相関を解消できることを示した．開発した手法を振動実験の結果に適用し，その有効性を確認した．</p> <p>第 7 章は結論であり，本論文で得られた成果を要約している．</p>			

(論文審査の結果の要旨)

今後発生が予想される首都圏直下地震や南海トラフ巨大地震に備え、被災建物の利用再開までの意思決定を支援する、健全性評価手法の確立は焦眉の課題である。地震によって構造部材に生じた損傷を同定することができれば、それに起因する剛性や耐力の低下度といった建物の残余耐震性能を定量的に評価することが可能である。被災鋼骨組の梁端部破断等の局所的な損傷を定量的に評価する技術を開発した本研究は、次の点で際立っている。

- (1) 建物に常設した無線型動ひずみセンサー網に損傷評価アルゴリズムを適用した局所損傷検知手法を提案し、それが鋼構造建物の梁端部の破断の位置や破断面の欠損量を高い信頼性をもって把握可能であることを検証した。また研究の一環として、無線通信モジュールと汎用型ピエゾ素子センサーにより構成した無線型動ひずみセンサー網を新たに開発し、大型建物模型を用いた振動実験においてその性能を実証した。
- (2) 建物内の固有モード振動下の曲げモーメント分布の変化から梁破断の位置と程度を評価する本研究の提案アルゴリズムは、被害地震前後の常時微動観測により損傷を評価できること、入力動の特性に影響されないこと、地震観測に基づく手法と比べて繰り返し計測が可能であるためデータ欠損への心配が少ないこと、等の特徴により、過去に提案された手法とは一線を画する有効性の高い手法であることを種々の検討により明らかにした。
- (3) 損傷指標を破断面の断面 2 次モーメントという物理量に対応させる損傷曲線を提案し、鋼骨組に対するパラメトリック解析から、損傷曲線に影響を及ぼす主要因が梁せいと梁スパンの比であることを突き止めた。またその知見に基づいて、損傷曲線を数値解析に依らない閉形解によって表現することに成功した。
- (4) 対象梁端部の近傍の他の梁端部に大きな損傷がある場合には、損傷評価指標が影響を受けることを確認したうえで、その影響を除去するために、相互影響マトリックスを用いて近傍損傷の影響をデカップリングする手法を提示した。

以上、鋼骨組の梁端部破断等の局所的な損傷を定量的に評価できる無線型動ひずみセンサー網とそれに適した損傷評価アルゴリズムを提案し、その基本性能と実用性を検討した本論文は、震災に対する鋼構造建物の安全性確認の迅速化・合理化という命題に対して、実現可能かつ有益な情報を提供している。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 7 月 30 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。